Девятнадцатая международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»

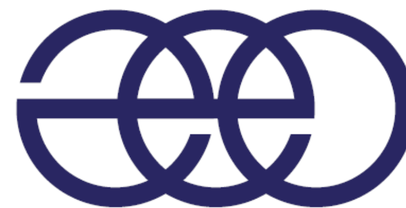
Институт космических исследований РАН,
15 ноября 2021 г.

ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ И ГЛОБАЛЬНЫЙ КЛИМАТ

С. М. Семенов,
А.А. Гладильщикова, В.В. Кузовкин

Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля





VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM



Современный энергетический бюджет Земли, Вт/м$^{-2}$ (Trenberth et al., 2009); на стрелках, представляющих потоки, указаны округлённые оценки

Парниковый эффект **как явление в климатической системе Земли***:*

радиационный эффект наличия в атмосфере парниковых веществ, выражающийся, при прочих равных условиях, в повышении температуры в приповерхностном слое по сравнению с ситуацией их отсутствия в атмосфере.

Характеристическое свойство парникового вещества: оно в гораздо большей степени поглощает длинноволновое, земное излучение, чем коротковолновое излучение Солнца.

Такими парниковым веществами являются парниковые газы (водяной пар, углекислый газ, метан, закись азота и др.) и вода в форме облаков.

Газ	Эмиссия антропогенная в атмосферу	Эмиссия естественная в атмосферу	Сток из атмосферы	Расчетное накопление в атмосфере	Фактическое накопление в атмосфере
CO_2	6.3 Гт (С)/год	150 Гт (С)/год	153 Гт (С)/год	3.3 Гт (С)/год	3.4 Гт (С)/год (1.6 ppm /год)
CH_4	450 Мт (CH_4)/год	160 Мт (CH_4)/год	580 Мт (CH_4)/год	30 Мт (CH_4)/год	20 Мт (CH_4) /год (7 ppb/год)
N_2O	8.1 Мт (N)/год	9.6 Мт (N)/год	12.3 Мт (N)/год	5.4 Мт(N)/год	4 Мт(N)/год (0.8 ppb/год)

Глобальные потоки CO_2, CH_4 и N_2O в 1980-1998 гг.

2.12 Гт(C-CO2)/ppm(CO_2) ; 2.8 Мт(CH_4)/ppb(CH_4) ; 4.96 Мт(N-NO_2)/ppb(N_2O)

Сток (выведение) из атмосферы

CO_2 – химический сток в атмосфере пренебрежимо мал; выводится из атмосферы, в основном, за счет

- **растворения в недонасыщенных каплях влаги в атмосфере и последующего выпадения осадков; в океан за счет растворения в недонасыщенном поверхностном слое;**
- **растворения в недонасыщенных пресных водах суши (с последующим выносом в океан);**
- **поглощения растительным покровом суши и – весьма медленного – депонирования углерода в устойчивых формах.**

CH_4 – разрушается в атмосфере в ходе химических и фотохомических реакций, в основном, в тропосфере при реакции с гидроксил-радикалом и в стратосфере за счет реакции с атомарным хлором; время жизни - примерно 12.4 года.

N_2O – в тропосфере практически не расходуется; разрушается в стратосфере в реакциях $NO_2 + O(^1D) \rightarrow 2NO$ и $N_2O + hv \rightarrow N_2 + O$. Время жизни – примерно 121 год.

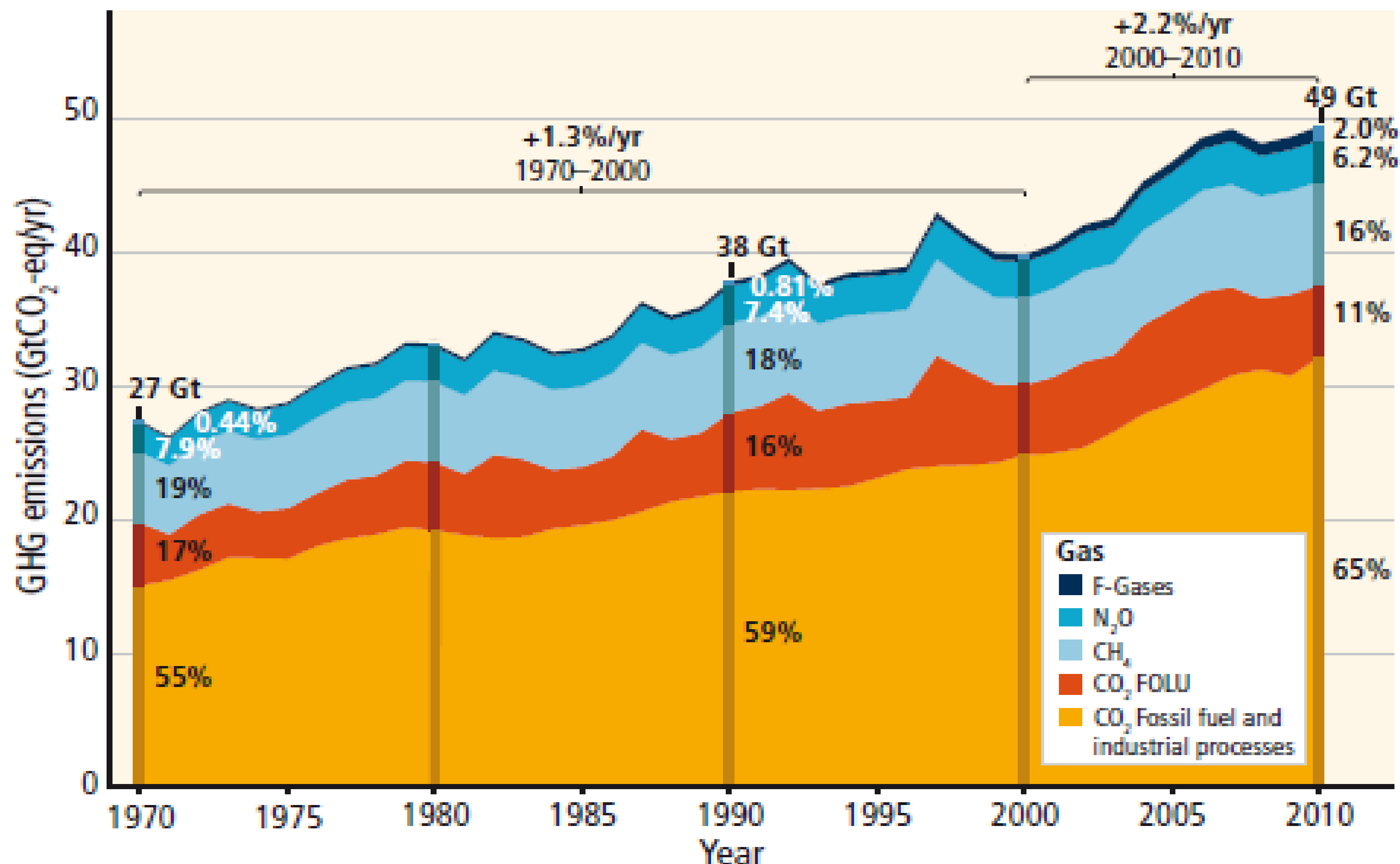
Основные антропогенные источники выбросов парниковых газов в атмосферу:

Углекислый газ (CO_2): Использование ископаемого топлива (уголь, нефть, газ) и производство цемента – основной антропогенный источник этого газа. CO_2 также выделяется при прямых антропогенных воздействиях в лесном хозяйстве и при других видах землепользования (например, при сведении лесов, в том числе для целей сельского хозяйства, вследствие деградации почв). CO_2 может изыматься из атмосферы при восстановлении лесов, улучшении состояния почв и других процессах.

Метан (CH_4): Выделяется, в том числе, при ведении сельского хозяйства, переработке отходов, использовании энергии, сжигании биомассы.

Закись азота (N_2O): Выделяется, в том числе, при ведении сельского хозяйства (например, при использовании некоторых удобрений), при использовании установок внутреннего сгорания.

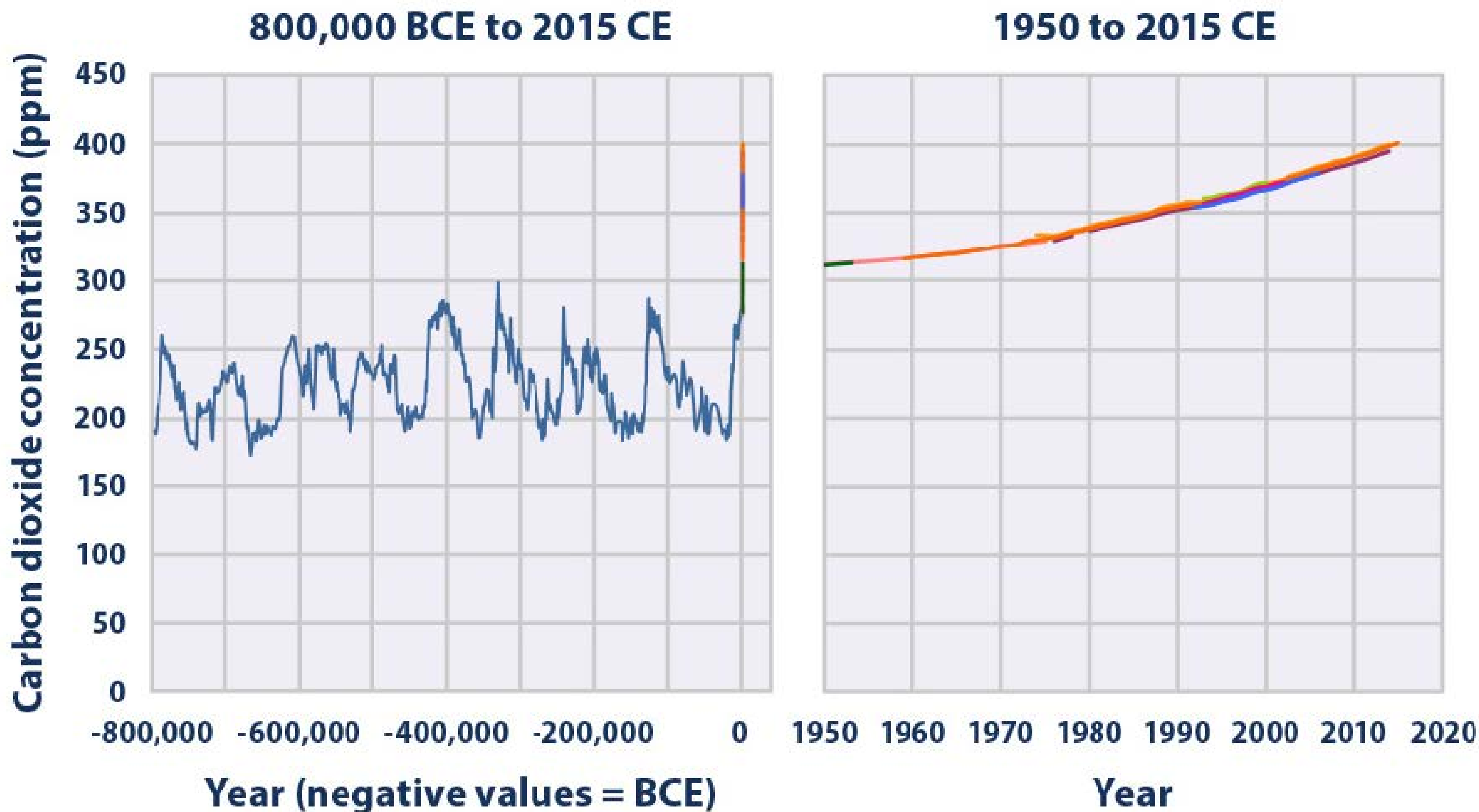
Фторсодержащие газы: Источники - процессы промышленного производства, криогенные процессы, использование множества товаров широкого потребления. Основные вещества - гидрофторуглероды (HFCs), перфторуглероды (PFCs), гексафторид серы (SF_6).



Суммарные годовые эмиссии парниковых газов (ГтCO_2экв /год) в 1970 – 2010 гг.: CO_2 от процессов сгорания и промышленности, CO_2 от лесного хозяйства и других видов землепользования (FOLU); метан (CH_4); закись азота (N_2O); хлорированные газы, подпадающие под условия Киотского протокола (IPCC, 2014).

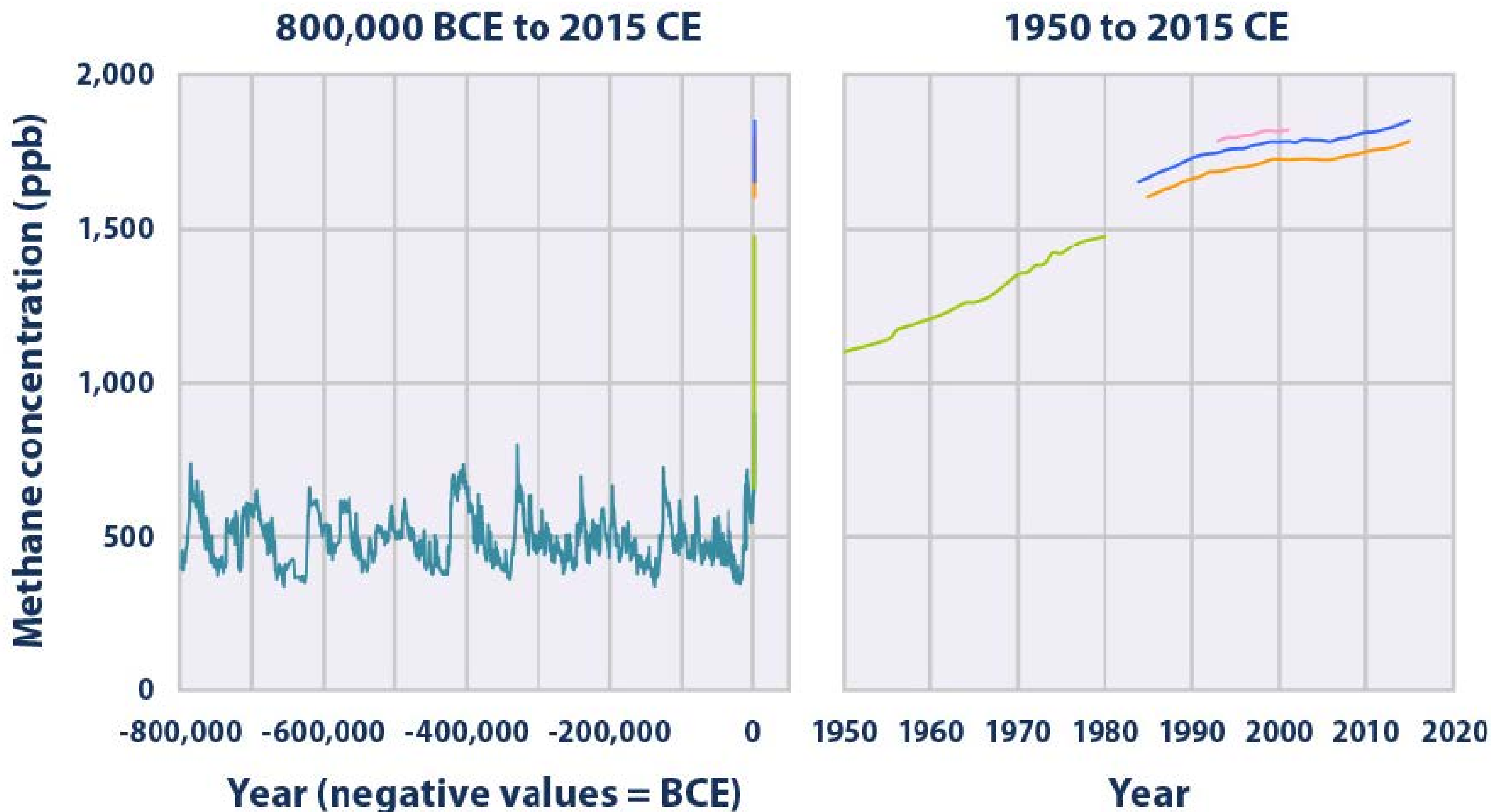
Концентрации углекислого газа за последние 800 000 лет и 1950-2015 гг.

Climate Change Indicators in the United States: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases - www.epa.gov/climate-indicators - Updated August 2016



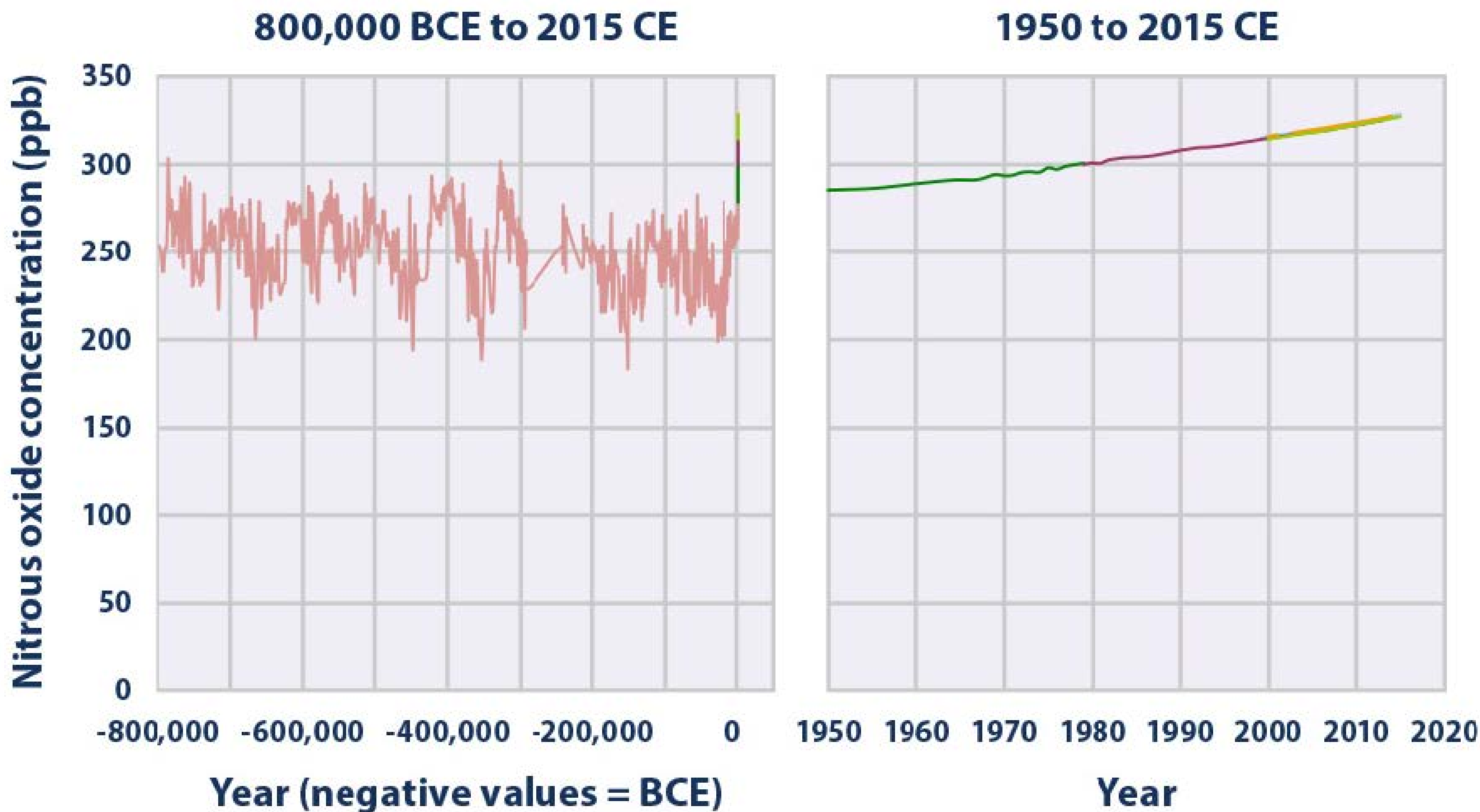
Концентрации метана за последние 800 000 лет и 1950-2015 гг.

Climate Change Indicators in the United States: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases - www.epa.gov/climate-indicators - Updated August 2016

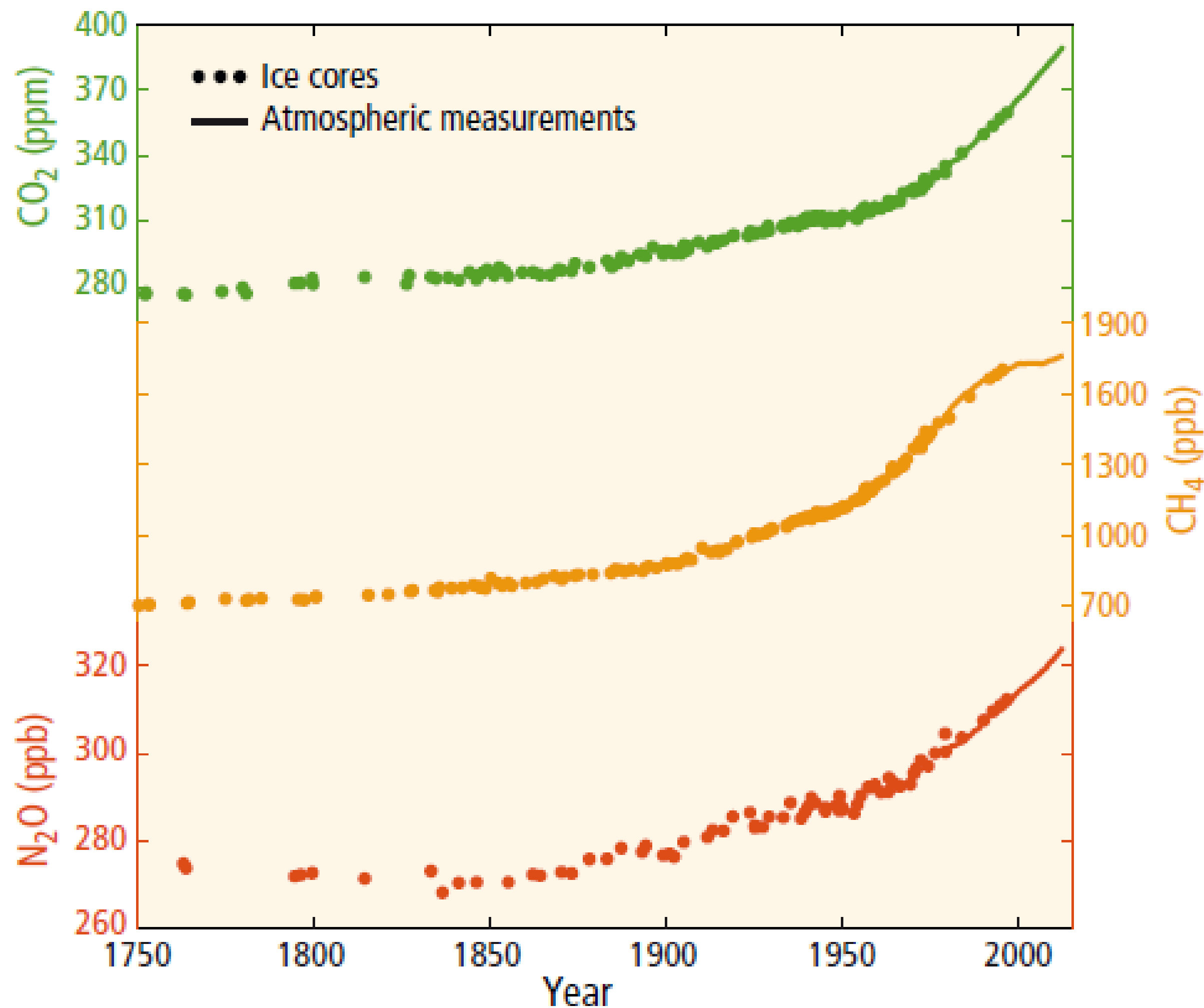


Концентрации закиси азота за последние 800 000 лет и 1950-2015 гг.

Climate Change Indicators in the United States: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases - www.epa.gov/climate-indicators - Updated August 2016

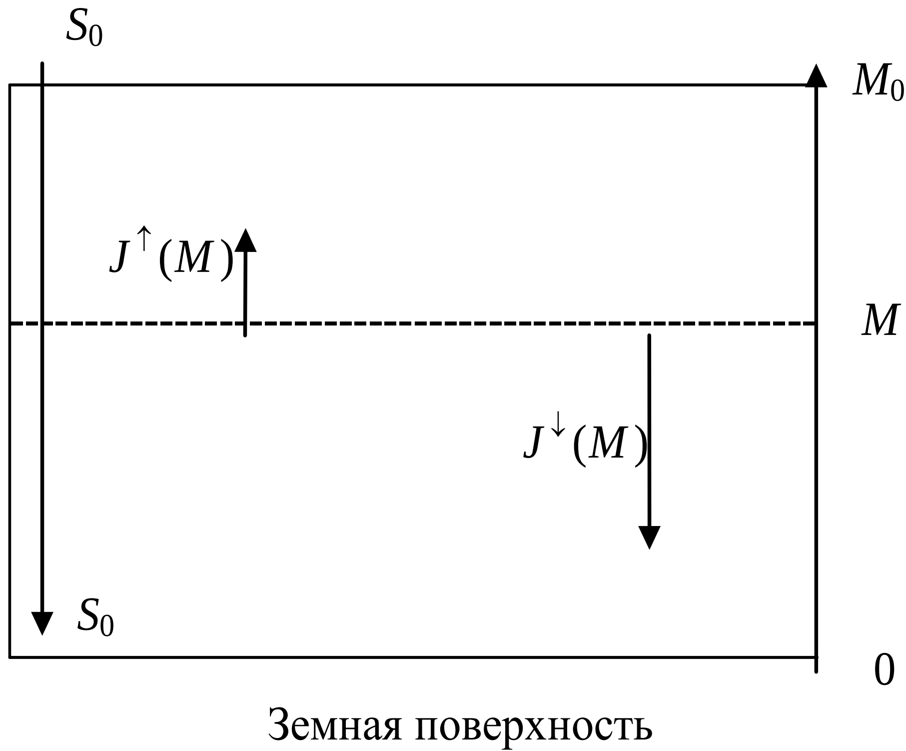


Средние глобальные концентрации



Обогащение атмосферы парниковыми газами (AR5 WG1 SPM) в результате антропогенных эмиссий <u>приводит к усилению парникового эффекта и потеплению в приповерхност-ном слое</u>.

Упрощенная схема радиационного равновесия

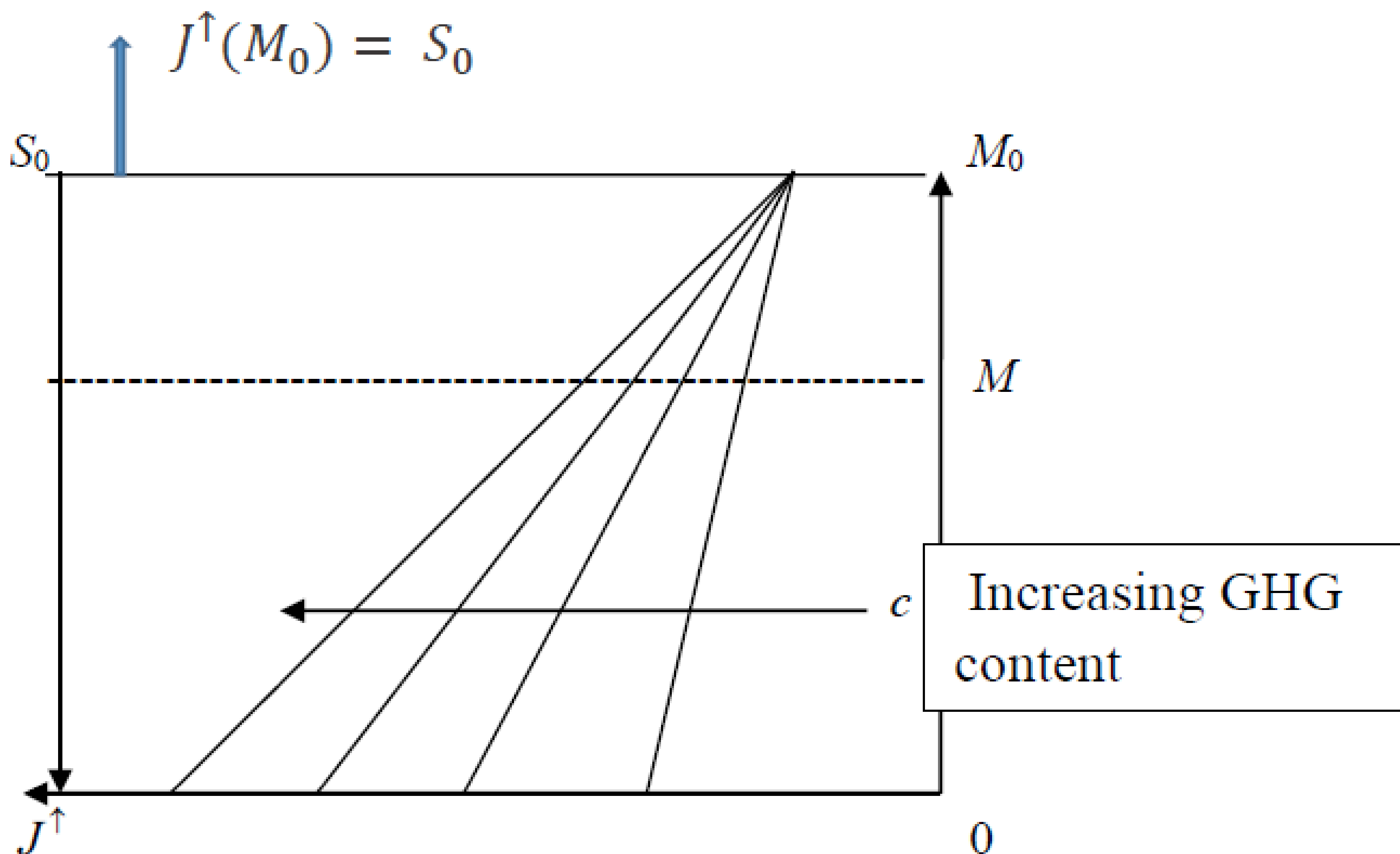


$$\frac{dJ^{\downarrow}(M)}{d(-M)} = -w(M)J^{\downarrow} + 0.5w(M)(J^{\downarrow}(M) + J^{\uparrow}(M))$$

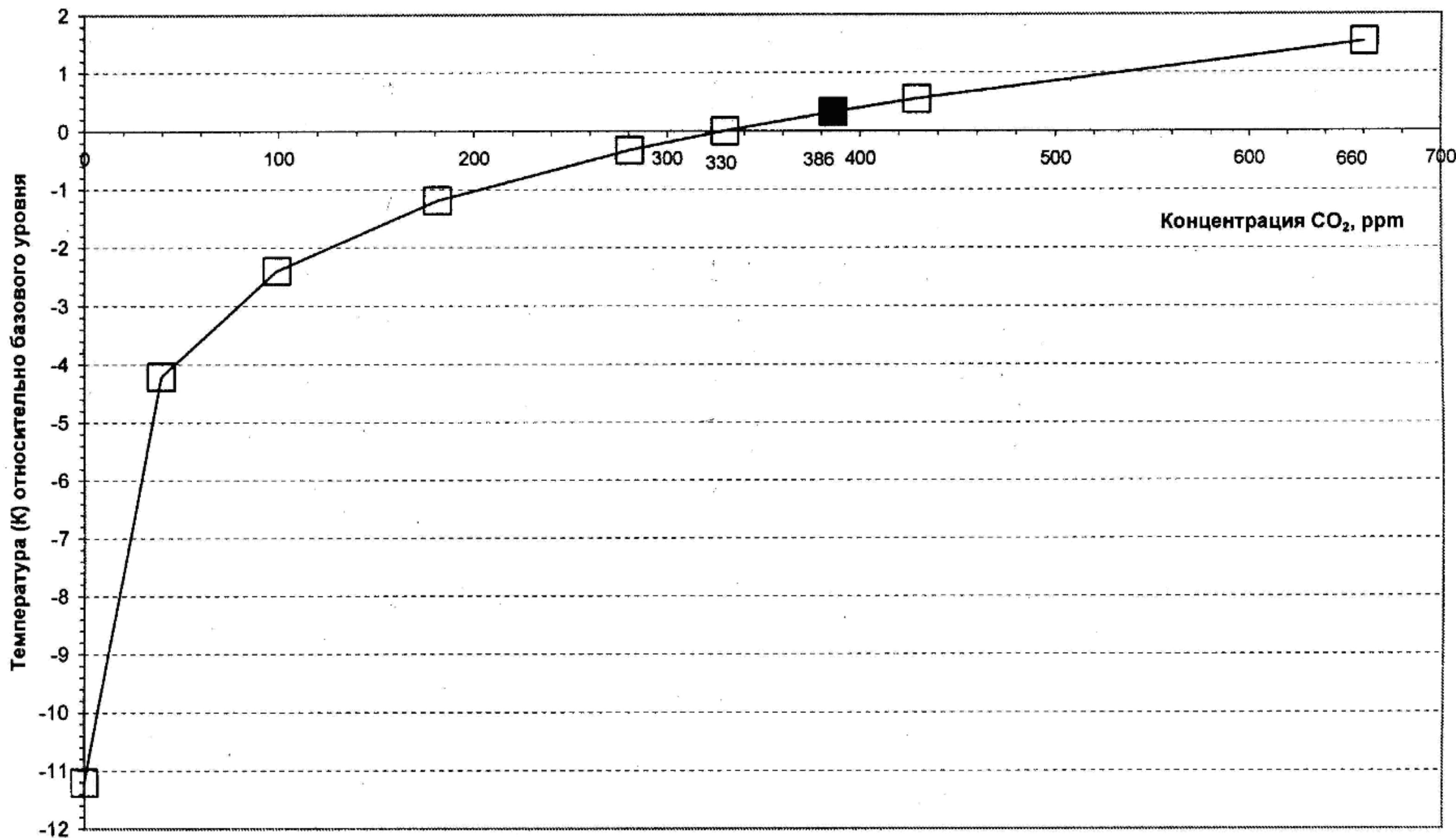
$$S_0 + J^{\downarrow}(M) = J^{\uparrow}(M)\,;\;\; J^{\downarrow}(M_0) = 0$$

$$\frac{dJ^{\uparrow}(M)}{dM} = -w(M)J^{\uparrow} + 0.5w(M)(J^{\downarrow}(M) + J^{\uparrow}(M))$$





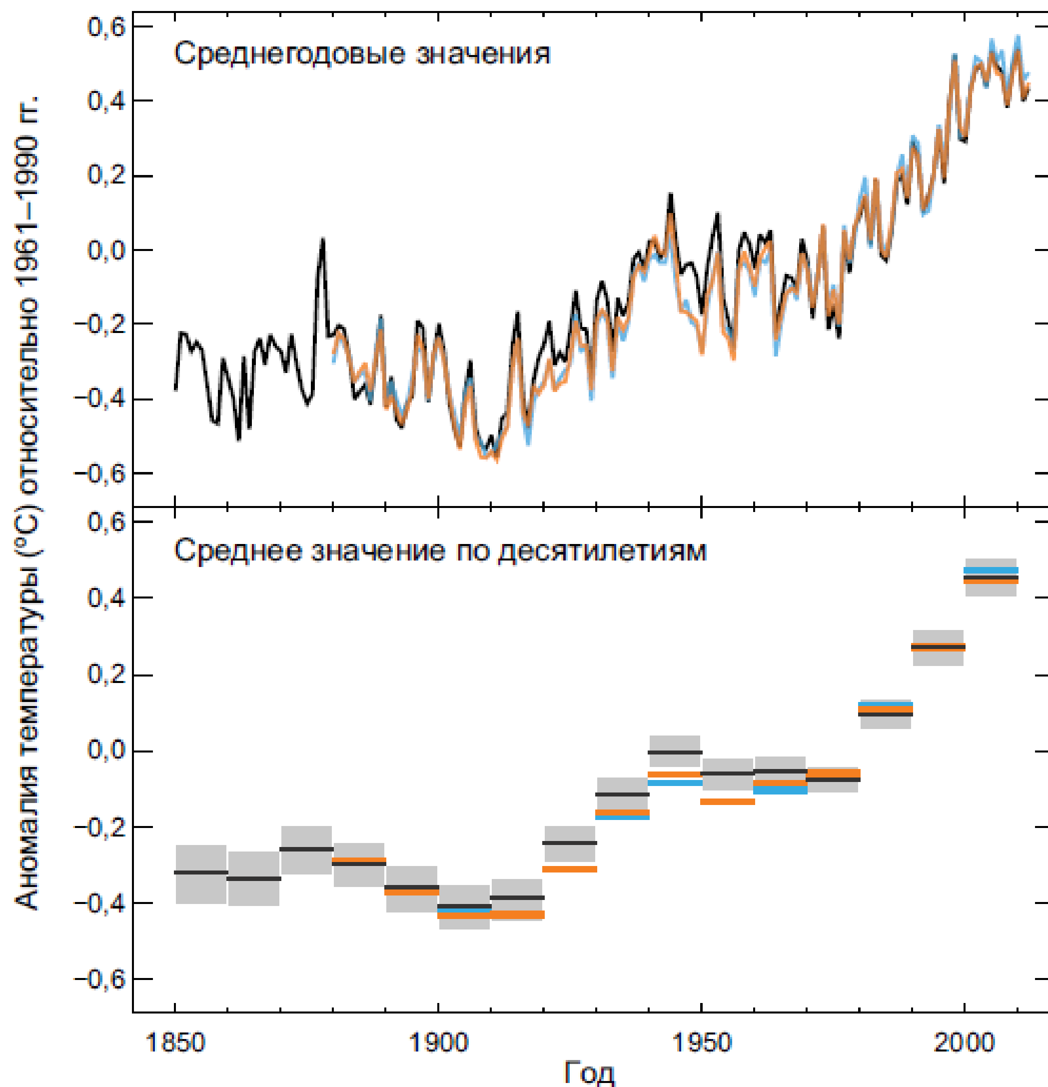
Упрощенная схема усиления парникового эффекта ($w(M) = w_0$):
S_0 - коротковолновый поток на верхнем пределе атмосферы (для простоты предполагается, что она прозрачна для солнечного потока); M_0 - полная масса газов в столбе атмосферы; c - содержание ПГ; $J^{\uparrow}$- восходящий поток длинноволнового излучения; $J^{\uparrow}(M) = S_0(1 + 0.5\, w(M_0 - M))$; **$J^{\uparrow}(0) = \sigma T_0^4$.**



Изменение радиационно-равновесной температуры (К) земной поверхности при изменении содержания CO_2 , полученная с помощью спектральной радиационной модели, использующей современные спектроскопические данные; нуль соответствует значению в 1970 г.

Концентрации 1970х (c_*), чувствительность радиационно-равновесной температуры земной поверхности к малому увеличению содержания парниковых газов и прирост температуры при c_* x 10

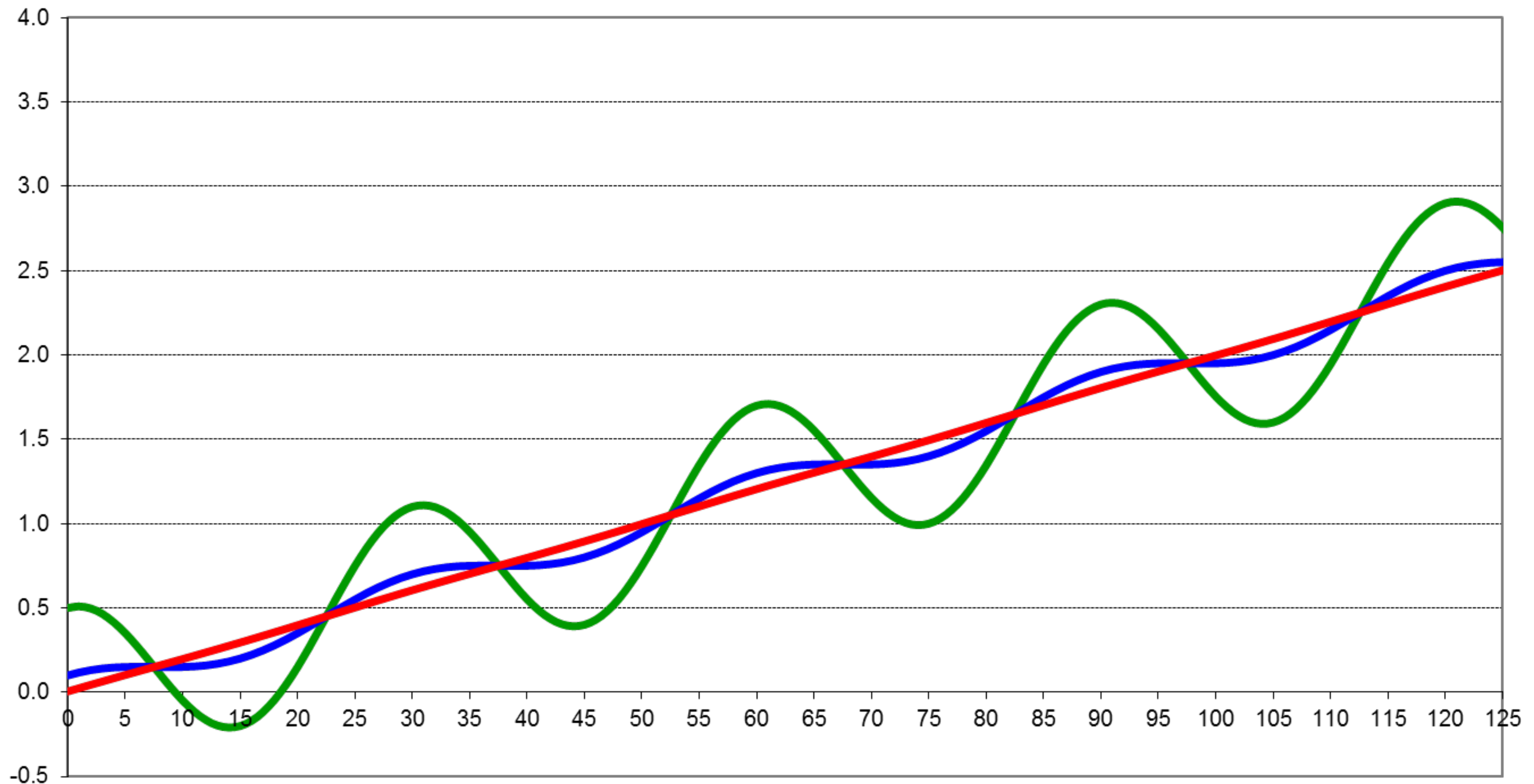
Газ	c_*, ppm	$\Delta T / \Delta c$ (K/ppm)	ΔT при (c_* x 10), K
H_2O	7750	0.001	-
CO_2	330	0.006 – 0.007	7.9
CH_4	1.7	0.08 - 0.09	0.8
N_2O	0.32	0.7 - 0.9	1.3



Изменение средней глобальной приземной температуры воздуха (аномалии vs. 1961-1990 гг.)

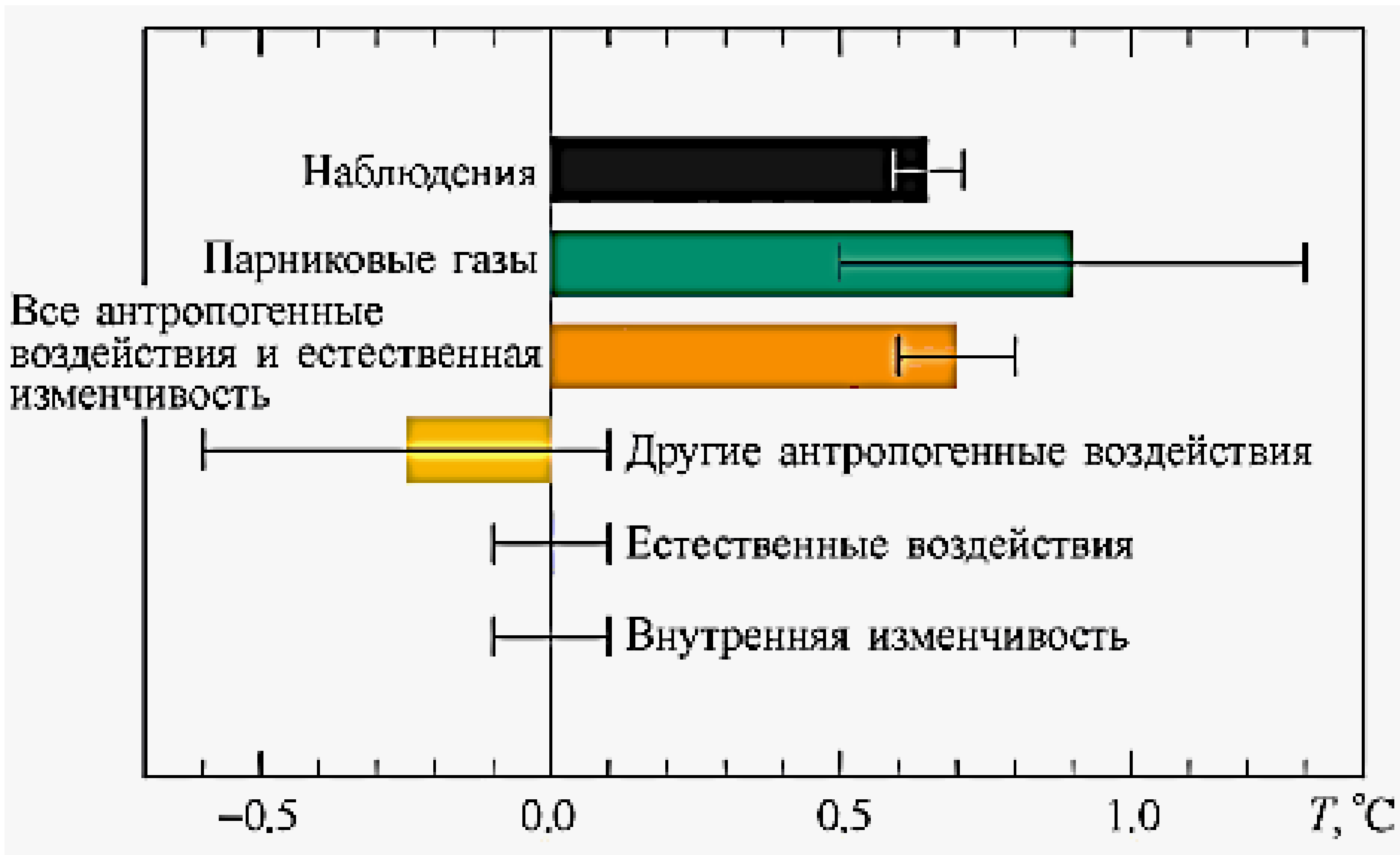
Каждое из трех последних десятилетий характеризовалось более высокой температурой у поверхности Земли по сравнению с любым предыдущим десятилетием начиная с 1850 г. В Северном полушарии 1983–2012 годы были, самым теплым 30-летним периодом за последние 1 400 лет (AR5 WGI SPM, AR5 SYR).

ИЛЛЮСТРАЦИЯ: вековой тренд (потепления) и 30-летние колебания

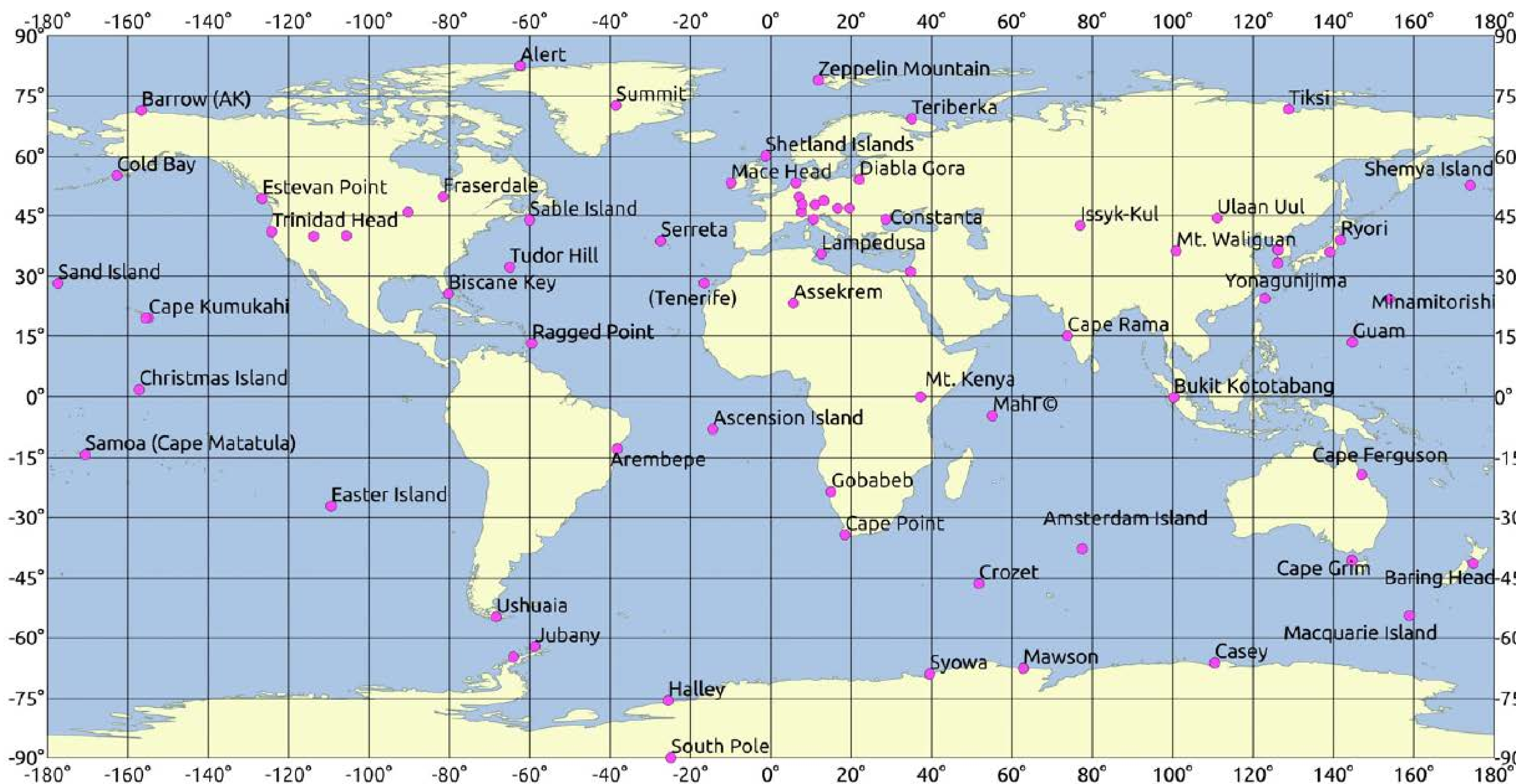


$T = 0.5\cos(2\pi t/30) + 0.02t$ $T = 0.1\cos(2\pi t/30) + 0.02t$

$T = 0.005\cos(2\pi t/30) + 0.02t$



Вероятностные границы (горизонтальные интервалы) и средние значения (цветные прямоугольники) оценок установленного вклада разных факторов в линейный тренд наблюдавшегося глобального потепления в 1951– 2010 гг. (IPCC, 2014a)



Станции, где осуществляется мониторинг уровней содержания парниковых газов в приповерхностном слое атмосферы (80, из них 20 – глобальных фоновых)

Названия некоторых станций не приведены на этой карте-схеме, например, западноевропейских, из-за нехватки места на рисунке

{$A(n)$} станционный ряд среднемесячных концентраций. Для данной станции $n = 1$ соответствует тому месяцу, когда впервые были проведена оценка среднемесячной концентрации, а $n = N$ соответствует порядковому номеру последнего месяца, для которого есть значения среднемесячной концентрации. Нумерация месяцев – сплошная.

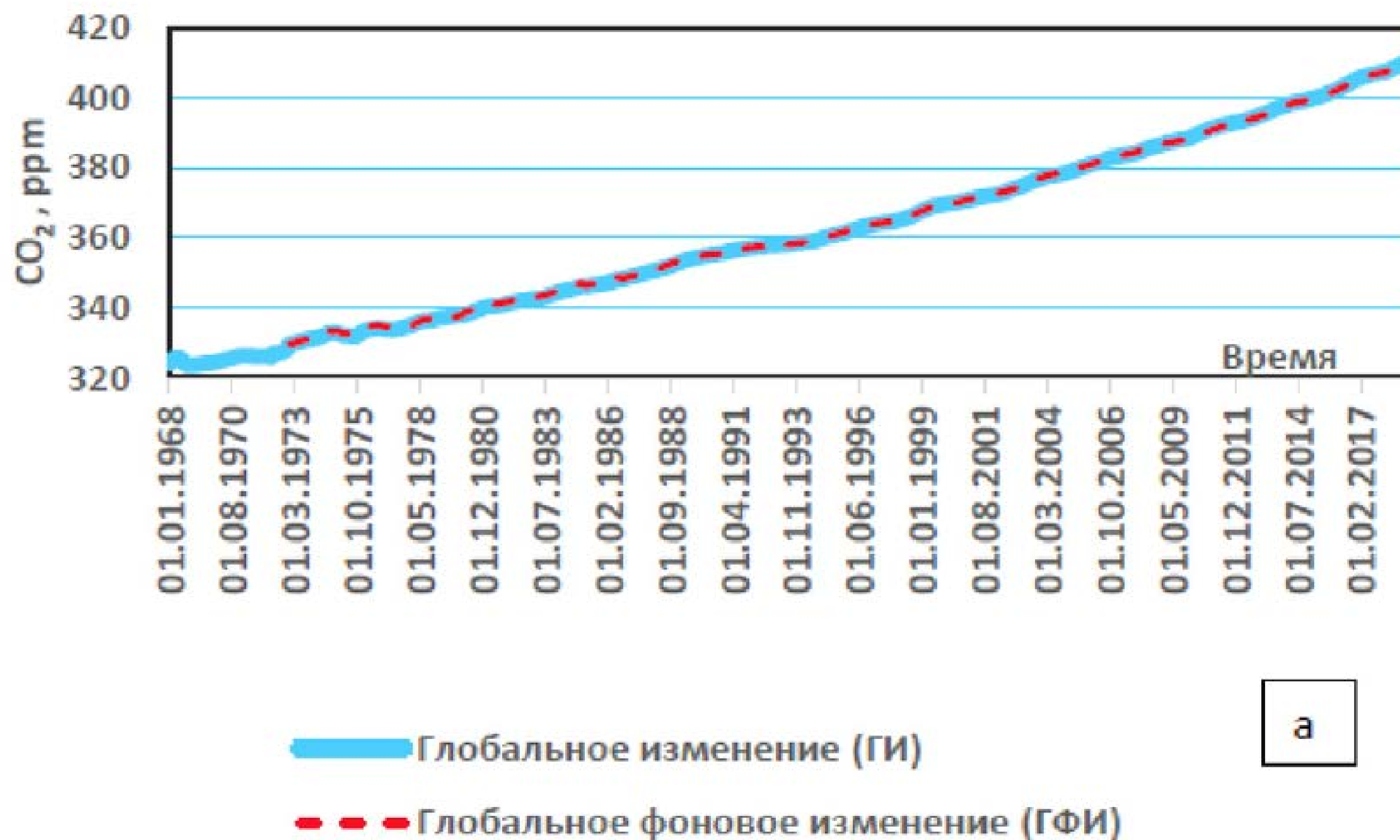
Ряд скользящих двенадцатимесячных средних $B(n)$ =

$$[0.5\,A(n-6) + A(n-5) + \ldots + A(n+5) + 0.5\,A(n+6)] / 12.$$

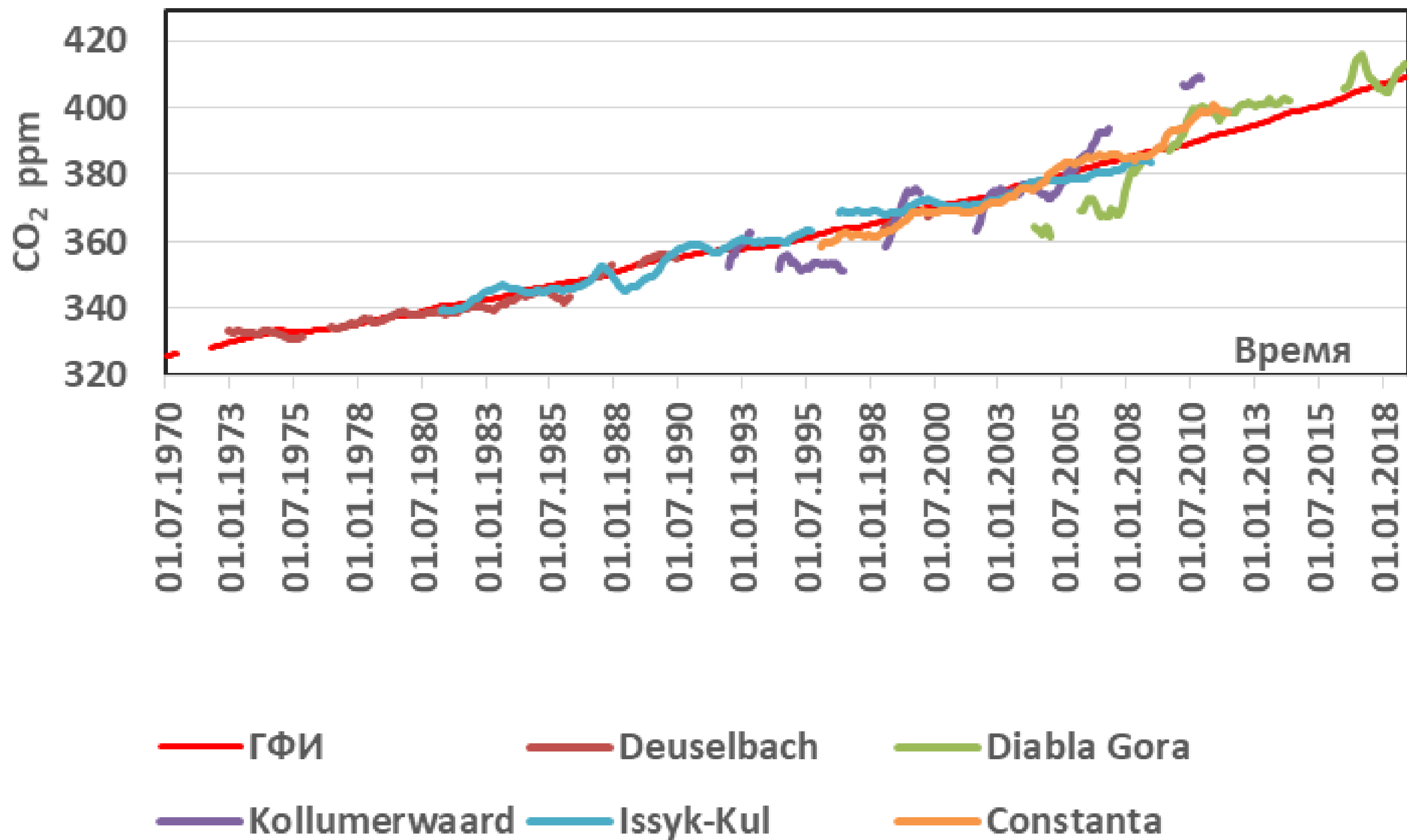
Месяцы

$n-6$	$n-5$	$n-4$	$n-3$	$n-2$	$n-1$	n	$n+1$	$n+2$	$n+3$	$n+4$	$n+5$	$n+6$

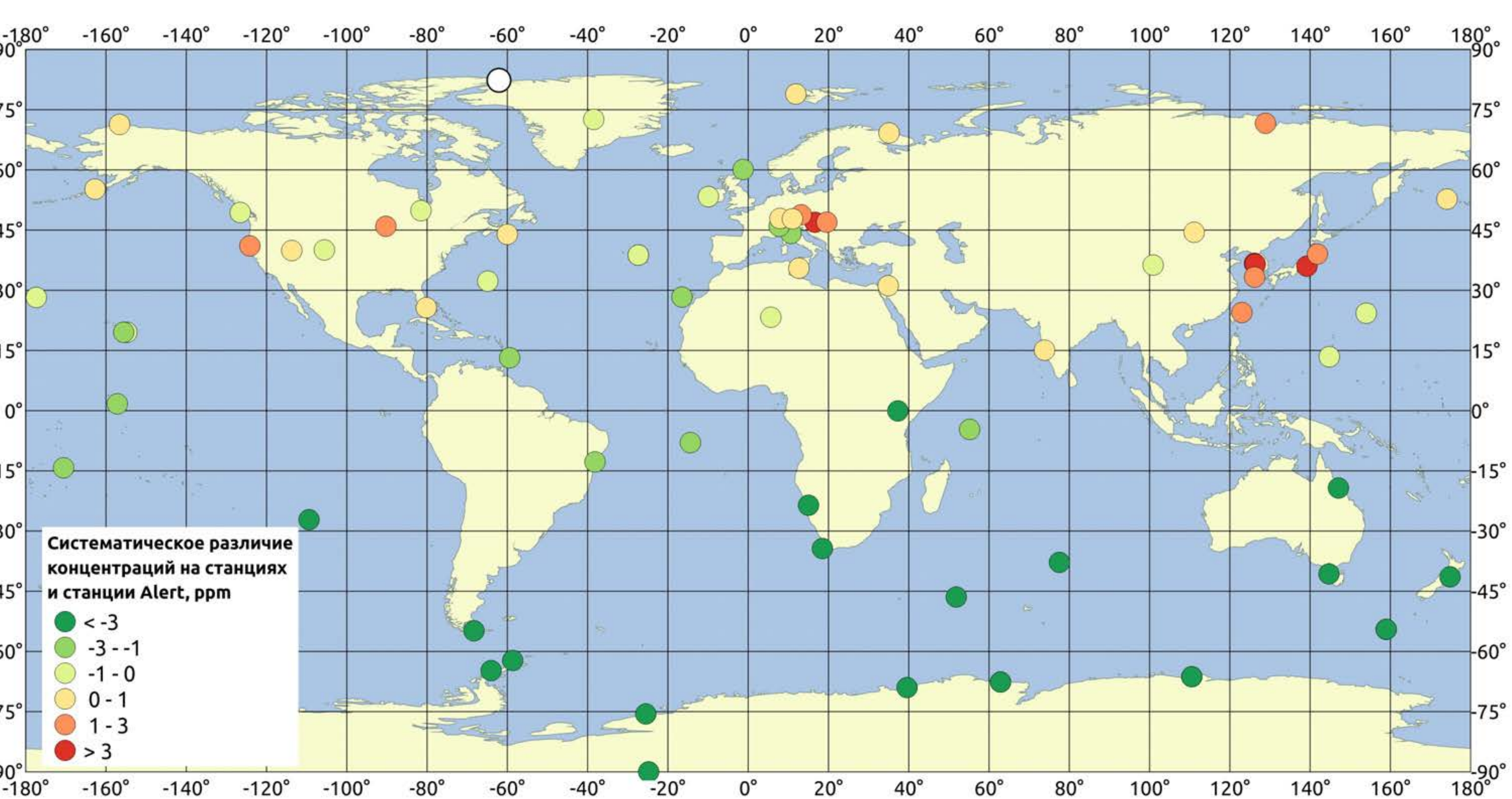
Для описания короткопериодной изменчивости среднемесячных концентраций используется ряд {$C(n)$}, $C(n) = A(n) - B(n)$.



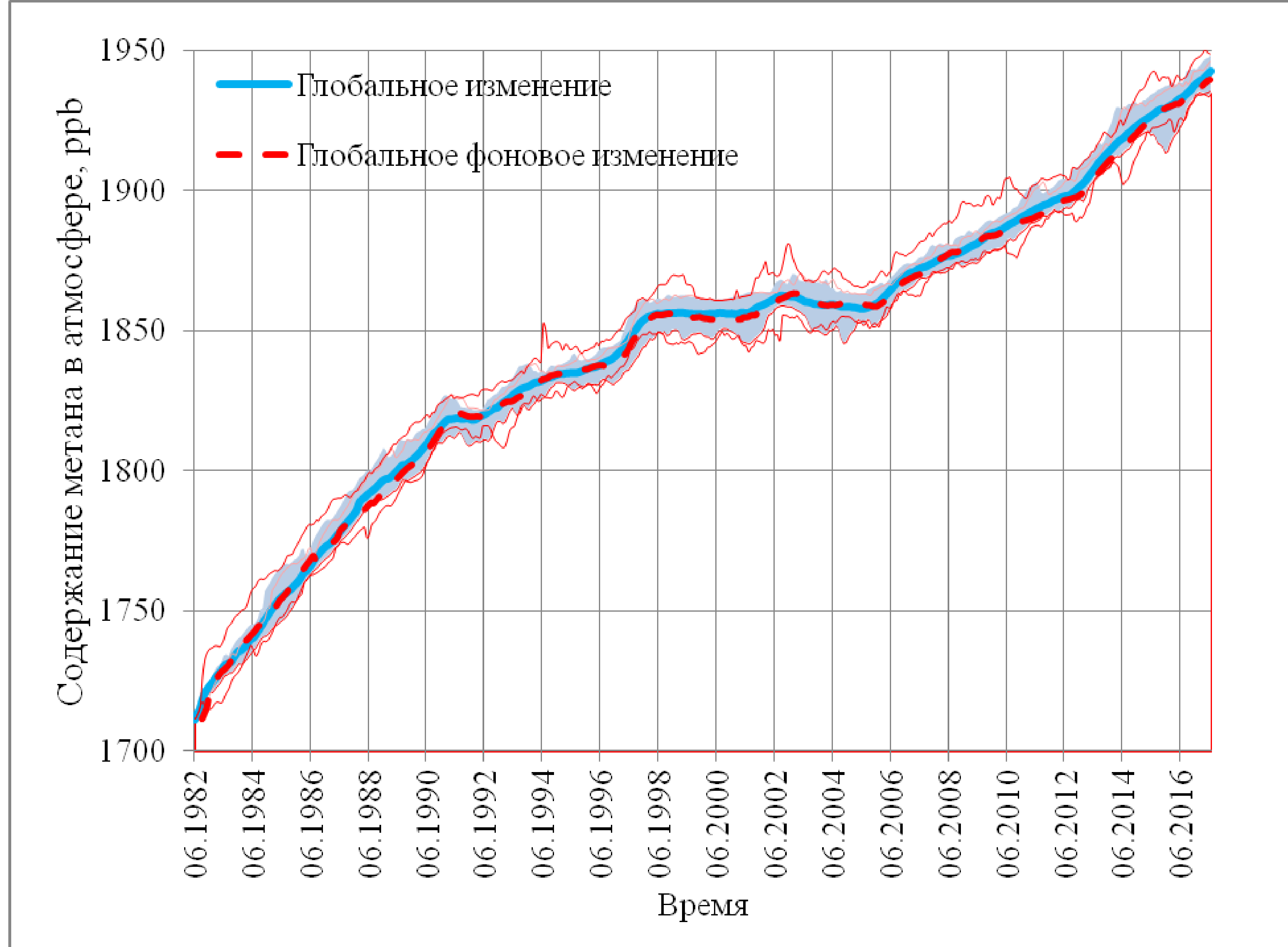
Многолетние изменения содержания CO_2 в приповерхностном слое атмосферы на станциях мониторинга, *B*(n),* ppm: ГФИ – глобальное фоновое изменение (среднее по глобальным станциям) и ГИ – для всех станций, кроме аномальных



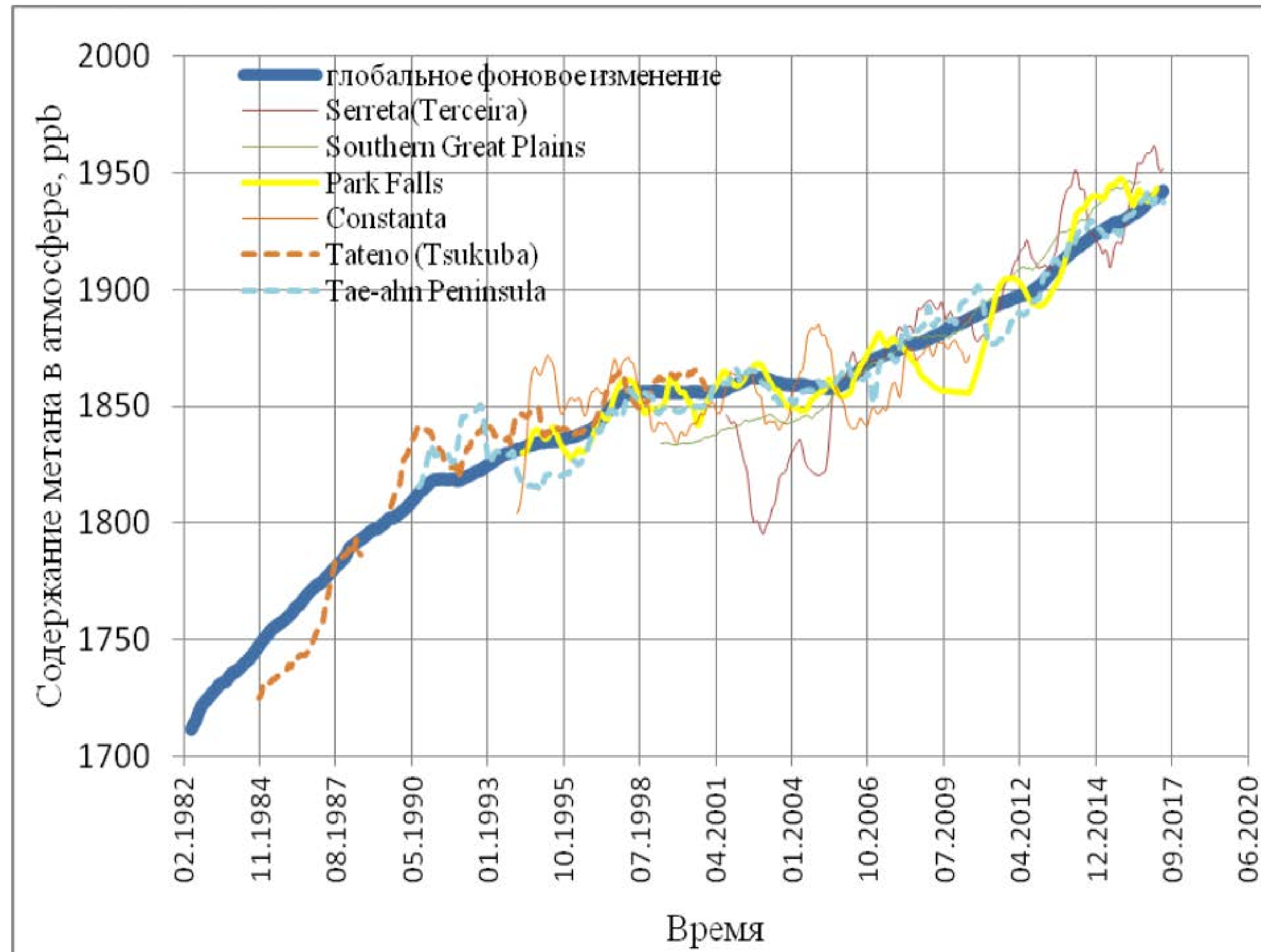
Многолетние изменения содержания CO_2 в приповерхностном слое атмосферы на станциях мониторинга, *B*(n)*, ppm: **среднее глобальное фоновое изменение (ГФИ) и изменения на станциях Deuselbach, Diabla Gora, Kollumerwaard, Issyk-Kul и Constanta, исключенных из рассмотрения**



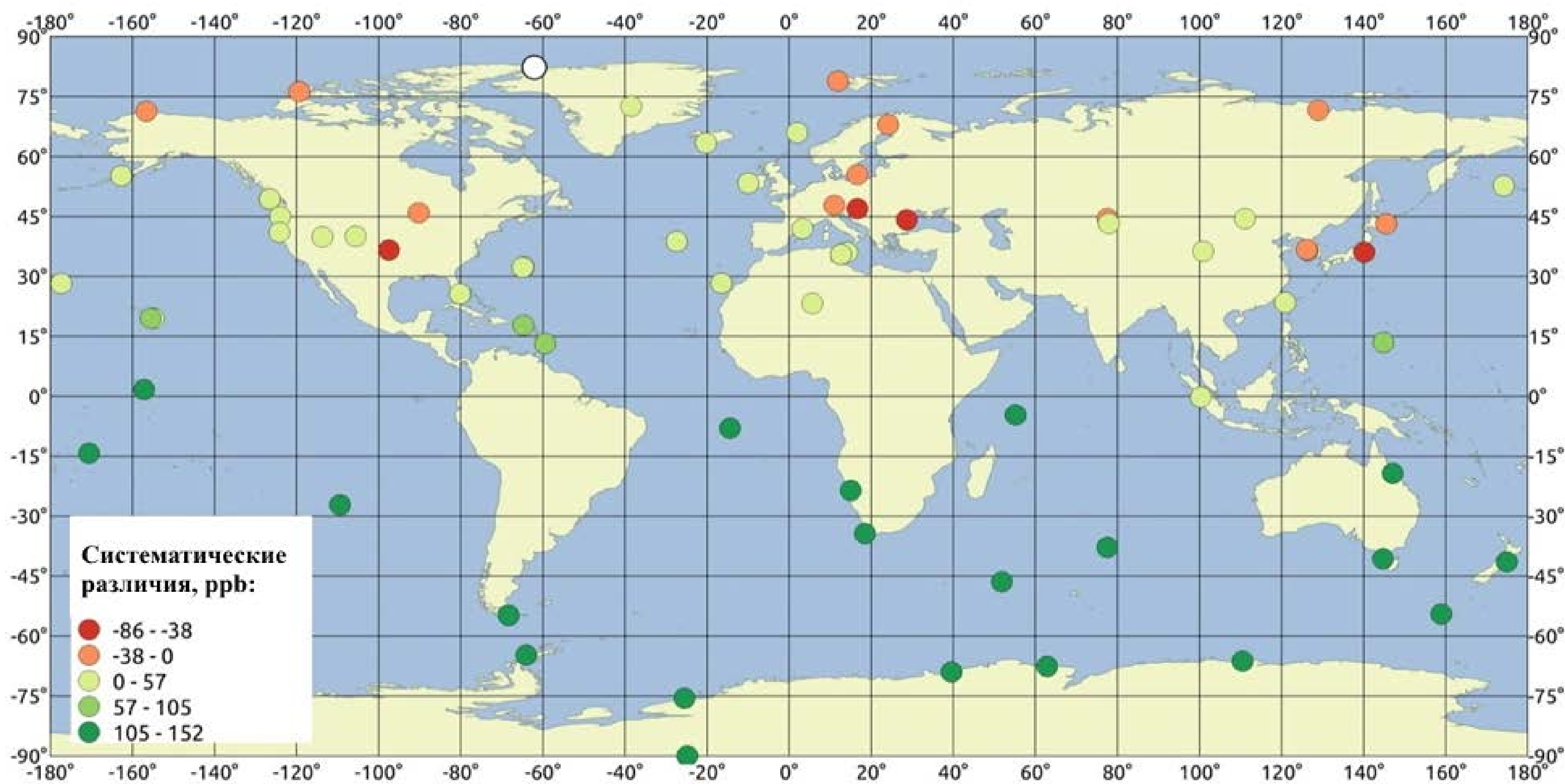
Систематические различия в многолетних уровнях содержания CO_2 на разных станциях мониторинга и станции Alert



Многолетние изменения содержания CH_4 в приповерхностном слое атмосферы (ppb): красный цвет – для группы глобальных станций (GB), а синий цвет – для группы региональных станций (RB); разность максимального и минимального индивидуального отклонения для станций от среднего тренда по их группе показана розовым и голубым фоном соответственно



Многолетние изменения содержания CH_4 в приповерхностном слое атмосферы (ppb) для группы региональных станций (RB, синий цвет) и индивидуальные изменения для «аномальных» региональных станций



Систематические различия в многолетних уровнях содержания CH_4 на станции Alert и других станциях

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

В индустриальную эпоху произошло глобальное потепление в приповерхностном слое. С 1950 г. оно составило в среднем примерно 1°С.

Основная причина – значительное увеличение содержания некоторых парниковых газов в атмосфере CO_2, CH_4, N_2O, O_3 и некоторых других, что усилило естественный парниковый эффект.

Наряду с температурой, меняются и другие параметры климата: сумма осадков, скорость ветра, частота экстремальных погодных явлений и др. Все это наблюдается и в Северной Евразии, в том числе в России.

Последствия наблюдаемых и ожидаемых изменений климата для природных и социально-экономических систем – в основном, отрицательные (с точки зрения человека).

Для их оценки и обоснованного баланса усилий по смягчению изменения климата и адаптации к ним необходимы исследования, в том числе мониторинг состояния климатической системы и антропогенных воздействий на нее.

В этих исследованиях играют значительную и все возрастающую роль методы м технологии мониторинга земной системы, основанные на ИСЗ. В отличие от сетей станций

мониторинга, расположенных на земной поверхности, они позволяют (уже сейчас или в недалеком будущем) получать информацию принципиально нового типа – практически непрерывные образы полей физических переменных, характеризующих состояние климатической системы.

В этом ряду:

– данные о полях концентраций парниковых газов и аэрозолей (как об общем содержании в столбе атмосферы, так и о распределении по высоте);

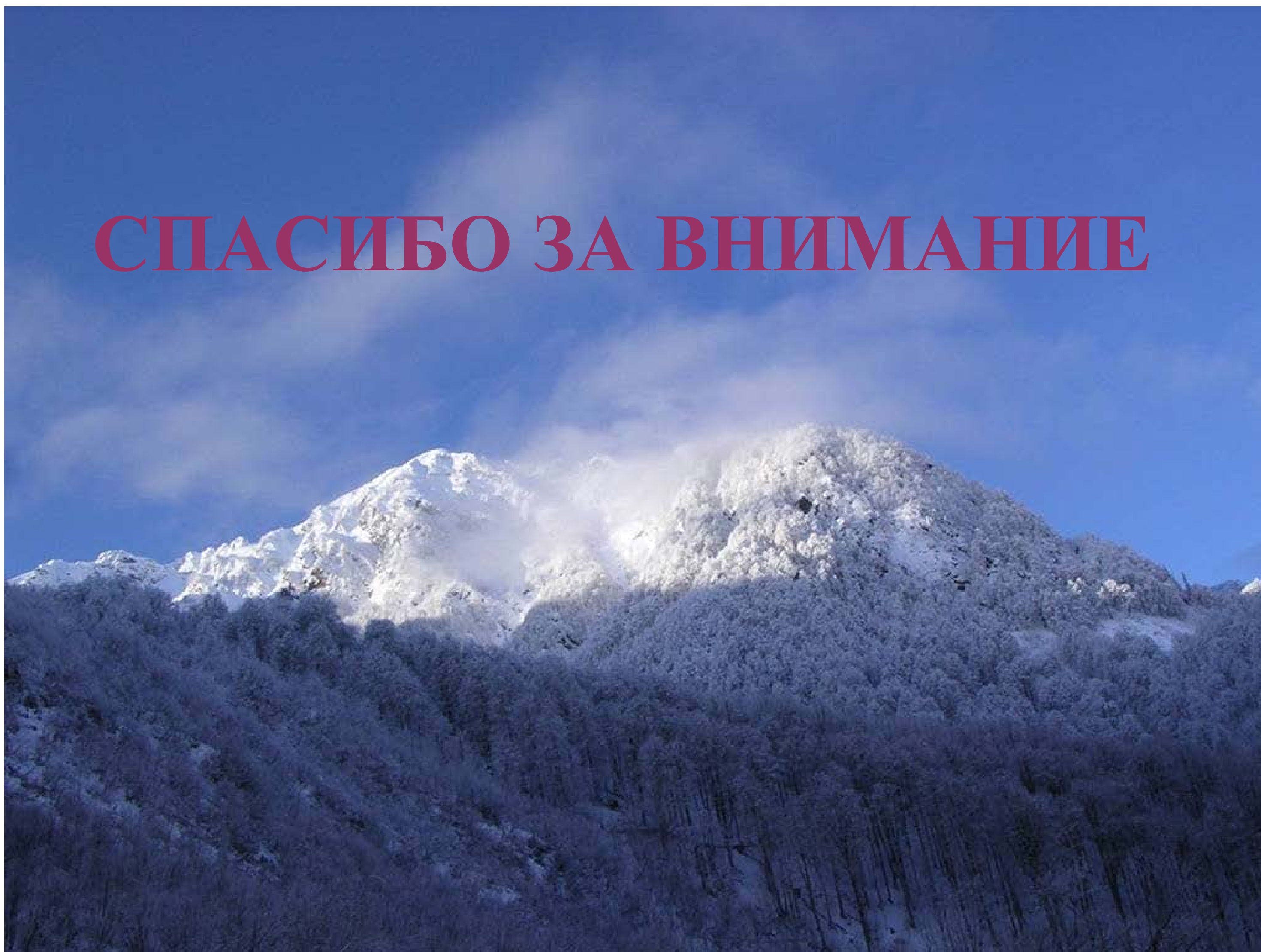
- расчетные данные о полях выбросов этих веществ с земной поверхности в атмосферу, основанные на данных измерений полей концентраций и полей ветра;

- оценки содержания углерода в компонентах наземных экосистем, основанные на данных измерений параметров растительного покрова суши;

- оценки потоков CO_2, поглощаемых растениями на суше и в поверхностном слое океана, основанные на данных измерения содержания хлорофилла;

- данные о состоянии объектов криосферы – ледниках и ледниковых покровах.

За этими направлениями, несомненно, большое будущее.


СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ